

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Федорова О. В., Бернгардт В. А., Беспалов В.М.

Руководитель профессор, д.т.н. Довженко Н. Н., доцент, к.т.н. Дроздова Т.Н.

ФГАОУ ВПО "Сибирский Федеральный Университет", г.Красноярск
fedorovaov@bk.ru

Современные проводниковые материалы должны иметь высокую прочность при эксплуатационных нагревах и низкое удельное электрическое сопротивление, что позволит увеличить пропускную способность проводов.

Для повышения термостойкости алюминиевых проводов необходимо вводить в их состав элементы, повышающие температурный порог рекристаллизации. Цирконий, как переходный металл с высокой температурой плавления и низкой диффузионной подвижностью в алюминии, значительно задерживает процессы рекристаллизации и способствует сохранению деформационного упрочнения при эксплуатационных нагревах деформируемых полуфабрикатов. Термостойкость алюминиевых сплавов обеспечивается дисперсной метастабильной фазой Al_3Zr , выделяющейся при отжиге.

Цирконий способен образовывать пересыщенный твердый раствор при литье, однако температура приготовления расплава должна быть существенно выше по сравнению с обычной технологией. Литье исследуемых сплавов должно обеспечить полное растворение циркония в твердом растворе.

На первом этапе работы исследовали влияние температуры плавки и заливки расплава на структуру и свойства деформированных полуфабрикатов из сплавов системы $Al-Zr$. Литье заготовок осуществляли при температуре плавки 800 и 900 °С и температуре заливки – 740, 800 и 900 °С. Исследовали литые заготовки, катанку и проволоку из сплавов $Al-0,3\%Zr-(0,15-0,2\%)Fe$

Катанку диаметром 9 мм получали совмещенной прокаткой-прессованием (СПП). В процессе холодного волочения из катанки изготавливали проволоку различного диаметра.

Металлографический анализ литых образцов позволил установить, что при температуре 900 °С цирконий полностью растворяется в твердом растворе. При температуре плавки 800 °С не весь цирконий входит в состав твердого раствора, в микроструктуре образцов обнаружены в

большом количестве первичные кристаллы фазы Al_3Zr в виде ограненных кристаллов игольчатой и пластинчатой формы, расположенные по границам зерен и дендритных ячеек. Наличие фазы Al_3Zr свидетельствует о неэффективном легировании цирконием твердого раствора и недостаточно высокой температуре плавки. Литая структура наследуется катанкой и проволокой, однако в долевом сечении деформированных полуфабрикатов наблюдается ориентированность частиц железосодержащих фаз и включений Al_3Zr в направлении оси деформации (рисунок 1, а). Волочение проволоки приводит к измельчению включений Al_3Zr и вытягиванию их в строчки (рисунок 1, б, в).

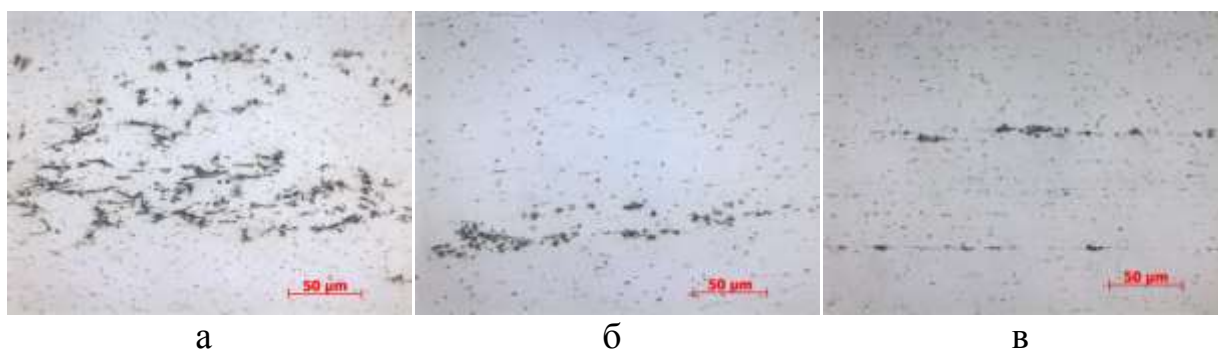


Рисунок 1-Микроструктура сплава $\text{Al}-0,3\%\text{Zr}-0,2\%\text{Fe}$, полученного при температуре литья $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\times 500$: а- пруток $\varnothing 9\text{ мм}$; б- проволока $\varnothing 4,5\text{ мм}$; в- проволока $\varnothing 2\text{ мм}$

В соответствии с МЭК 62004–09 к проволоке, применяемой в проводах ЛЭП, основными регламентируемыми свойствами являются УЭС, предел прочности, относительное удлинение и термостойкость.

На втором этапе работы проводили определение термостойкости проволоки на соответствие типам АТ1 (с максимально допустимой длительно действующей рабочей температурой $150\text{ }^{\circ}\text{C}$) и АТ3 (с максимально допустимой длительно действующей рабочей температурой $210\text{ }^{\circ}\text{C}$) в лабораторных условиях СФУ осуществляли на образцах проволоки диаметром 2-4,3 мм, изготовленной из катанки сплава $\text{Al}-0,3\%\text{Zr}-0,2\%\text{Fe}$.

Для снижения удельного электрического сопротивления катанку перед волочением подвергали отжигу по режиму: первая ступень – нагрев до температуры $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдержка 48 ч + вторая ступень. В катанке после двухступенчатого отжига существенно уменьшилось УЭС до значения $0,02819\text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, что соответствует требованиям ASTM B941–05, однако, предел прочности упал ниже регламентируемого уровня до 110 МПа.

Проволока в деформированном состоянии удовлетворяет требованиям МЭК 62004–09. Термостойкость проволоки оценивали по изменению временного сопротивления разрыву при комнатной температуре и после нагрева до температур $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ (тип АТ1) и $280\text{ }^{\circ}\text{C}$

(тип АТЗ) и выдержке в течение часа. Остаточный коэффициент напряжения при растяжении после нагрева не должен быть менее 90 %. Результаты определения термостойкости приведены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты испытаний на термостойкость проволоки из сплава Al-0,3%Zr-0,2%Fe

Диаметр проволоки, мм	Деформированное состояние		230 °С (АТ1)		280 °С (АТ3)	
	ρ_{20} , Ом·мм ² /м	σ_B , МПа	σ_B , МПа	Остат. коэф. напряжения при растяж. %	σ_B , МПа	Остат. коэф. напряжения при растяж. %
4,3	0,02839	161	150	93,2	139	86,3
3,6	0,02839	165	152	92,1	142	86,1
2,0	0,02867	172	158	91,9	150	87,2

По результатам испытаний на термостойкость при температуре 230°С определено, что проволока различного диаметра из сплава Al-0,3%Zr-0,2%Fe, соответствует типу АТ1, что подтверждает величина остаточного коэффициента напряжения 92%. После испытания при температуре 280 °С, с выдержкой 1 час проволока имеет остаточный коэффициент напряжения 86-87 % и находится на границе требований по типу АТЗ.

Выводы.

1. Установлено, что при температуре плавки 900 °С цирконий полностью растворяется в твердом растворе, образуя максимально пересыщенный твердый раствор, снижение температуры плавки до 800 °С приводит к нежелательному выделению первичных кристаллов фазы Al₃Zr.

2. По результатам испытаний на термостойкость определено, что проволока диаметром 2-4,5 мм из сплава Al-0,3%Zr-0,2%Fe соответствует термостойкости типа АТ1 с максимально допустимой длительно действующей рабочей температурой 150 °С.